

# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»  
РТУ МИРЭА»

---

## ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### Конфиденциальная информация и ее защита в документационном обеспечении управления

#### Электроника

Уровень бакалавриат  
Форма обучения очная

Направление  
подготовки 10.03.01 Информационная безопасность

Институт комплексной безопасности и специального приборостроения

Кафедра кафедра электроники

Лектор д.т.н., профессор Филинов В.В.

Используются в данной редакции с учебного года 2020/21

Проверено и согласовано «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ г. \_\_\_\_\_  
(подпись директора Института Филиала  
с расшифровкой)

Москва 2020г.

#### 4.4. Условные обозначения на шкале приборов

При практическом применении приборов необходимо определить их пригодность к предстоящему измерению той или иной величины. Данные о приборе в виде условных обозначений указываются на их шкалах и приведены в табл. 4.1.

Кроме того, следует определить максимальные и минимальные пределы измерения ( $A_{\text{МАКС}}$  и  $A_{\text{МИН}}$ ) и цену деления шкалы

$$A = (A_{\text{МАКС}} - A_{\text{МИН}}) / N ,$$

где  $N$  - число делений между  $A_{\text{МАКС}}$  и  $A_{\text{МИН}}$ .

#### 4.5. Метод построения амперметров и вольтметров непосредственной оценки

Магнитоэлектрический, электромагнитный, электродинамический измерительные механизмы можно применять для измерения тока (амперметр) и напряжения (вольтметр).

При изменении тока какой-либо ветви механизм включают последовательно с другими элементами этой ветви, а при измерении напряжения – параллельно участку цепи, между выводами которого измеряется напряжение. Поскольку измерительные механизмы имеют весьма высокую чувствительность, то в большинстве случаев их применяют для измерения тока и напряжения совместно с дополнительными устройствами, предназначенных для **расширения пределов измерения**.

Для расширения пределов измерения значений тока параллельно измерительному механизму  $ИМ$  включают резистивный элемент (рис. 4.6, а), называемый шунтом. Необходимое сопротивление шунта  $R_{\text{ш}} = R_{\text{и}} / (N - 1)$ , где  $R_{\text{и}}$  – сопротивление измерительного механизма без шунта;  $N$  – число, показывающее, во сколько раз должен быть увеличен предел измерений.

Шунты изготавливаются из металла, сопротивление которого мало зависит от температуры, например из манганита.

Для расширения пределов измерения значений напряжения последовательно с измерительным механизмом включают добавочные резисторы  $R_{\text{доб}}$  (рис. 4.6 б), которые образуют делитель напряжения.

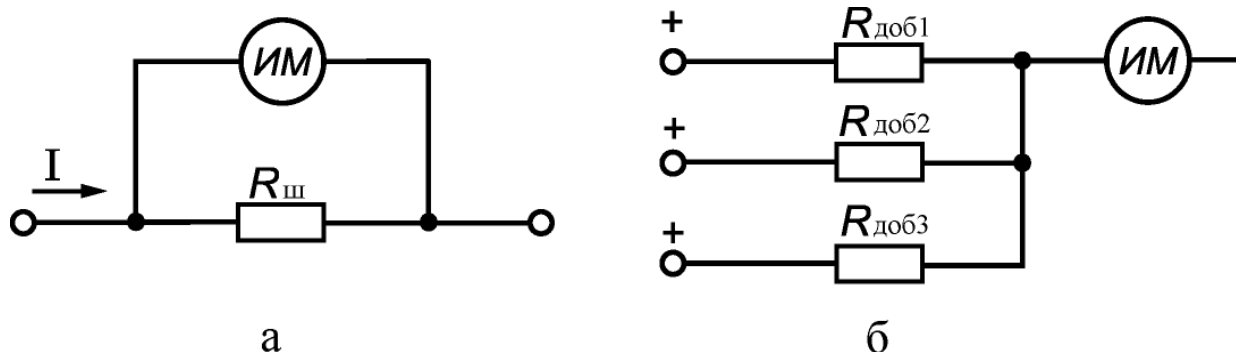


Рис. 4.6. Схемы расширения пределов измерения

Необходимое сопротивление добавочного резистора

$$R_{доб} = R_{И} (N - 1),$$

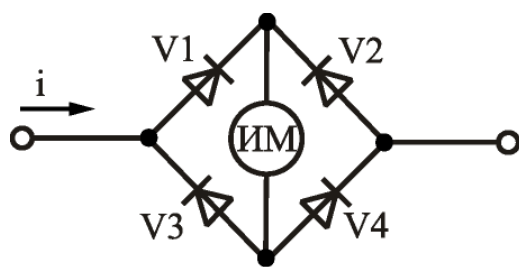
где  $R_{И}$  – сопротивление измерительного механизма без добавочного резистора;  
 $N$  – число, показывающее, во сколько раз должен быть увеличен предел измерений.

Включая различные добавочные резисторы, вольтметр можно применять для измерения напряжений в различных диапазонах значений, что при правильно выбранном диапазоне уменьшает погрешность измерений.

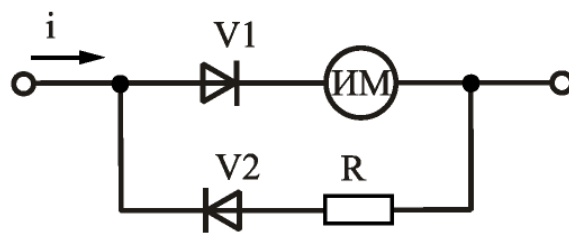
У амперметров электромагнитной системы для расширения пределов измерения в большинстве случаев катушку выполняют секционированной, с отводами.

**Приборы с преобразователями** в большинстве случаев состоят из комбинации магнитоэлектрического измерителя с вентилями (выпрямительные приборы) или с термоэлементами (термоэлектрические приборы).

**В выпрямительных приборах** (рис. 4.7) высокочувствительный и точный магнитоэлектрический измерительный механизм применяется для измерений в цепях переменного тока. Вместо мостовой схемы (рис. 4.7, а) может быть и



а



б

Рис. 4.7. Схемы выпрямительных приборов

другая схема выпрямления, но во всех случаях необходима схема преобразования переменного тока в пульсирующий.

В схеме рис. 4.7, б диод  $V1$  и измерительный механизм  $ИМ$  образуют однополупериодный выпрямитель. Вследствие инерционности подвижной части магнитоэлектрического механизма угол отклонения его стрелки пропорционален среднему значению выпрямленного тока. В течение отрицательного полупериода цепь тока замыкается через диод  $V2$  и резистор, минуя измерительный механизм, что позволяет избежать искажения формы кривой тока в рабочей цепи. Кроме того, диод  $V2$  и резистор с сопротивлением  $R$ , равным сопротивлению измерительного механизма, предназначены для уменьшения обратного напряжения на диоде  $V1$ .

В мостовой схеме (рис. 4.7, а) ток через измерительный механизм проходит в течение положительного и отрицательного полупериодов. Поэтому чувствительность прибора с двухполупериодным выпрямителем в 2 раза больше чувствительности с однополупериодным выпрямителем.

Пределы измерения выпрямительных приборов расширяются также при помощи шунтов, добавочных резисторов и делителей напряжения.

Основные достоинства выпрямительных приборов — высокая чувствительность, малая потребляемая мощность измерительного механизма, возможность работы на повышенных частотах (до 50 кГц). Точность выпрямительных приборов относительно невысока — класс точности 1,5; 2,5.

**Термоэлектрический прибор** представляет собой соединение одного или нескольких термопреобразователей с магнитоэлектрическим измерительным механизмом (рис. 4.8). Термопреобразователь в свою очередь

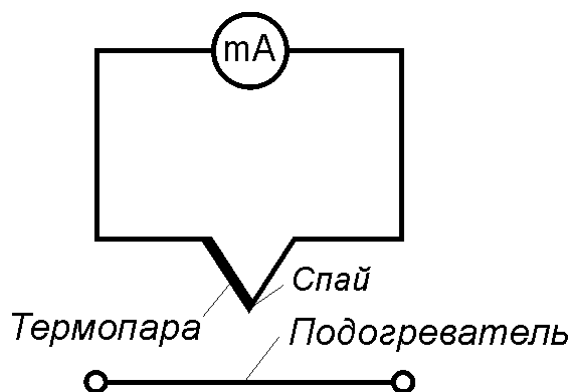


Рис. 4.8. Схема термоэлектрического прибора

состоит из одного или нескольких термоэлементов (термопар), подогреваемых нагревателем с измеряемым током.

Термо-ЭДС преобразователя очень мала, поэтому термоэлемент должен подключаться к измерительному механизму высокой чувствительности по напряжению. Термо-ЭДС наиболее распространённых типов термопар преобразователей (хромель – копель, железо – константан и др.) составляет примерно 30 – 50 мВ при нагреве до 600 - 1000°С.

Термоэлектрические приборы применяются для измерений только в цепях переменного тока. Шкала термоэлектрического прибора неравномерна и приблизительно квадратична. Это объясняется тем, что ток в магнитоэлектрическом механизме пропорционален термо-ЭДС, которая пропорциональна температуре спая, а последняя зависит от количества выделяющегося тепла, пропорционального квадрату тока в подогревателе.

Основным достоинством термоэлектрических приборов является высокая точность измерений в широком диапазоне частот (до 100 МГц). К недостаткам приборов следует отнести большую чувствительность к перегрузкам и ограниченный срок службы термопреобразователей.

#### 4.6. Электронные приборы непосредственной оценки

Большое распространение, наряду с вышеописанными, получили электронные приборы для измерения тока и напряжения. Рассмотрим основные принципы построения электронных вольтметров.



Рис. 4.9. Блок-схема вольтметра



Рис. 4.10. Блок-схема вольтметра

Электронный вольтметр постоянного тока представляет собой высокочувствительный усилитель постоянного тока (УПТ) с магнитоэлектрическим измерительным механизмом на выходе.

Электронные вольтметры переменного тока могут быть построены по схемам усилитель – выпрямитель (рис. 4.9) или выпрямитель – усилитель (рис.4.10).

Электронный амперметр строится по схеме вольтметра, измеряющего падение напряжения на образцовом сопротивлении, которое включают последовательно в ту ветвь, в которой измеряется ток.

В зависимости от того, какое значение переменного напряжения  $u_x$  измеряется электронным вольтметром, различают вольтметры среднего, действующего и амплитудного значений.

**Электронный вольтметр среднего значения напряжения.** Он имеет одно- или двухполупериодный выпрямитель, в котором применяются полупроводниковые диоды, работающие на линейном участке их вольт – амперной характеристики.

**Вольтметр действующего значения.** Для этого вольтметра необходимы диоды с рабочей точкой на квадратичном участке вольт-амперной характеристики.

Наилучшая характеристика у нелинейных квадратирующих элементов на термопреобразователях. Применение термопреобразователей позволяет создать вольтметры действующего значения с линейной шкалой. Такие вольтметры необходимы для регистрации и автоматической обработки данных или для управления.

**Вольтметр амплитудного значения.** Это такой вольтметр, показания которого соответствуют амплитуде измеряемого синусоидального напряжения или максимальному значению при периодическом напряжении несинусоидальной формы. Шкалу прибора можно градуировать как в максимальных значениях напряжений, так и в действующих значениях напряжений  $U = U_m / \sqrt{2}$  (только при измерении синусоидальных напряжений).

Для измерения амплитудного (максимального) значения напряжения в выпрямительное устройство вольтметра вводится элемент, «запоминающий» значение  $U_m$ . Свойством «памяти» обладает конденсатор, заряжаемый через диод до амплитудного (максимального) значения переменного напряжения (рис. 4.11 а). Измеряемое напряжение  $u_x$  подается на вход прибора.

В течение первой положительной полуволны входного напряжения  $u_x$  ток  $i$  заряжает конденсатор до напряжения  $u_c$ . Во время отрицательной полуволны диод запирается, конденсатор  $C$  разряжается через сопротивление  $R$  и измерительный механизм. Сопротивление нагрузки детектора  $R$  обычно 50—100 МОм. Поэтому постоянная времени разрядки  $\tau = RC$  велика по сравнению с периодом  $T = 2\pi / \omega$  измеряемого напряжения  $u_x$  и напряжение конденсатора  $u_c$  уменьшится незначительно. При следующей положительной полуволне напряжения  $u_x$  конденсатор подзарядается до напряжения  $u_c = u_x$ .

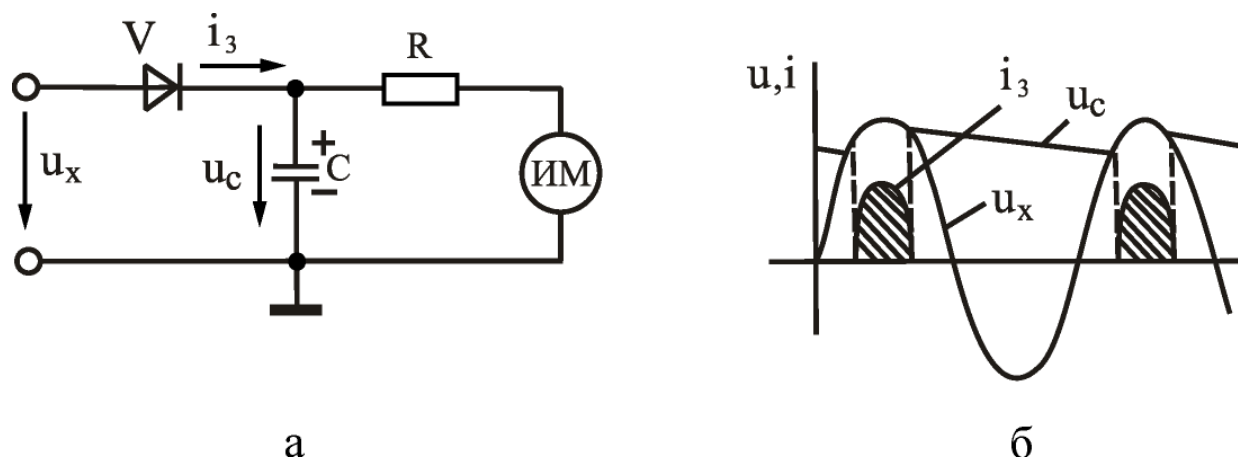


Рис. 4.11. Схема (а) диаграммы работы (б) вольтметра амплитудного значения

Таким образом, в те интервалы времени, когда мгновенное значение напряжения  $u_x$  превышает напряжение на конденсаторе  $u_c$ , диод открывается и происходит подзарядка конденсатора  $C$  (рис. 4.11 б) зарядным током  $i_3$ .

Если измеряемое напряжение  $u_x = U_0 + U_{mx} \sin \omega t$ , т. е. содержит постоянную составляющую  $U_0$ , то конденсатор заряжается до напряжения  $u_c \approx U_0 + U_{mx}$  и показания вольтметра будут соответствовать максимальному значению напряжения  $U_{x\max} = U_0 + U_{mx}$  (рис. 4.12).

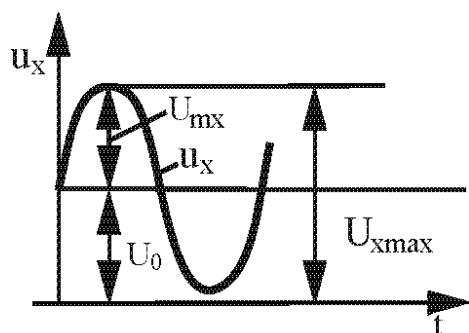


Рис. 4.12. Диаграмма работы вольтметра

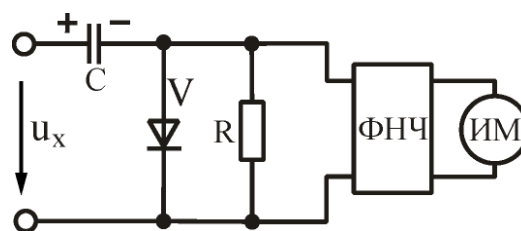


Рис.4.13. Схема вольтметра с закрытым входом

Для устранения этого недостатка используют схему с закрытым входом (Рис. 4.13), в которой на входе включен конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую напряжения  $U_0$ .

#### 4.7 Измерение мощности в цепях постоянного тока и активной мощности в цепях переменного тока

Измерение мощности в цепях постоянного тока возможно косвенным методом при помощи амперметра и вольтметра, так как  $P = UI$ , а в цепях переменного тока при помощи амперметра, вольтметра и фазометра с расчётом активной мощности по формуле  $P = UI \cos \varphi$ . Однако в этих случаях измерение мощности связано с вычислением по отсчётам двух или трёх приборов, что снижает точность и усложняет процесс измерения.

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного токов промышленной частоты осуществляется **ваттметрами**, обычно с электродинамическими измерительными механизмами.

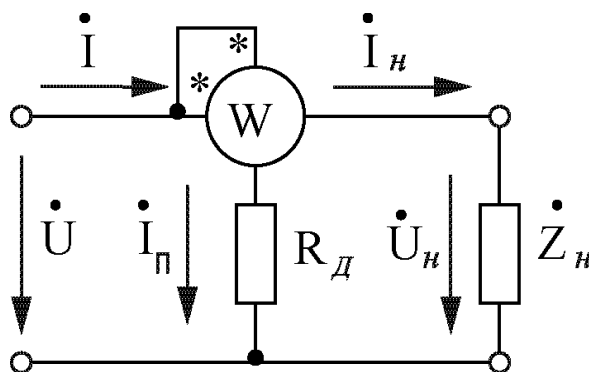


Рис. 4.14. Схема включения ваттметра

Электродинамические ваттметры выпускаются в виде переносных приборов высоких классов точности (0,1; 0,5).

Для измерения мощности на высоких частотах применяются термоэлектрические и электронные ваттметры, представляющие собой магнитоэлектрический измерительный механизм, снабженный преобразователем активной мощности в постоянный ток.

На рис. 4.14. показана схема включения в цепь переменного тока электродинамического ваттметра для измерения активной мощности, приемника или потребителя с сопротивлением нагрузки  $Z_n$ . Подвижная катушка включается последовательно с добавочным резистором  $R_d$  параллельно приемнику.

Угол отклонения стрелки электродинамического измерительного прибора

$$\alpha = k' P,$$

где  $k'$  — масштабный коэффициент.

Таким образом, шкалу электродинамического ваттметра можно проградуировать в единицах измерения активной мощности.

**Измерение активной мощности в трехфазных цепях.** Активную мощность можно измерить при помощи одного, двух или трех приборов в



зависимости от схемы соединения фаз потребителя и симметрии нагрузки. Рассмотрим соответствующие схемы включения.

Активная мощность трехфазного потребителя, фазы которого соединены звездой, равна сумме мощностей отдельных фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

Из этого выражения видно, что, измерив активную мощность каждой из фаз и просуммировав показания, можно определить активную мощность трехфазного потребителя. Такой метод измерения называется методом трех ваттметров. Наиболее часто он применяется для измерения мощности в трехфазной четырехпроводной несимметричной системе (рис. 4.15).

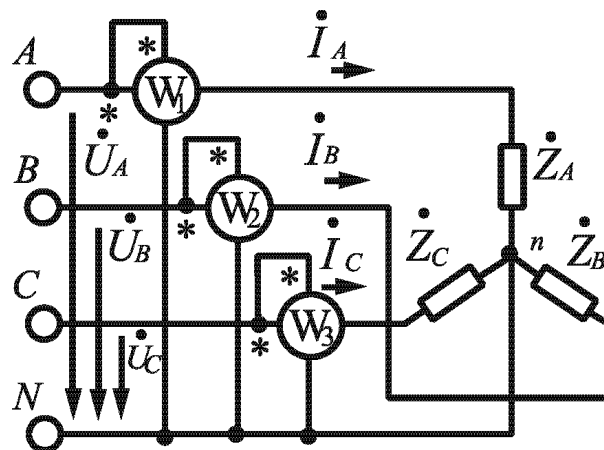


Рис. 4.15. Схема включения ваттметров в трёхфазной цепи

В частном случае симметричного трехфазного приёмника  $P_A = P_B = P_C$  и  $P = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi$ . Поэтому в симметричной трёхфазной цепи измерение активной мощности может быть выполнено одним прибором (рис. 4.16а).

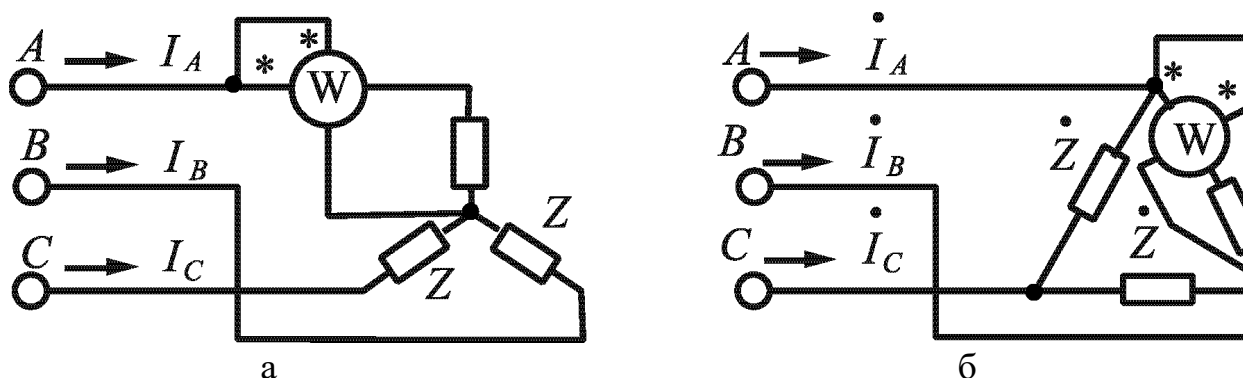


Рис. 4.16. Схема измерения мощности симметричного приёмника

При соединении симметричного приемника треугольником также достаточно измерить мощность в одной фазе (рис. 4.16б); общая мощность равна утроенному показанию ваттметра.

Как известно, мощность любой трехфазной системы (вне зависимости от схемы соединения приемников) равна сумме мощностей отдельных фаз или мощности источника питания (генератора, трансформатора). Для мгновенных значений мощности трёхпроводной трехфазной цепи (рис. 4.17) будет справедливо выражение:

$$p = p_A + p_B + p_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C,$$

где  $p_A, p_B, p_C$  — мгновенные значения мощностей отдельных фаз;  $u_A, u_B, u_C, i_A, i_B, i_C$ , — мгновенные значения фазных напряжений и токов источника питания, фазы которого будем считать соединенными звездой, так что фазные токи равны линейным.

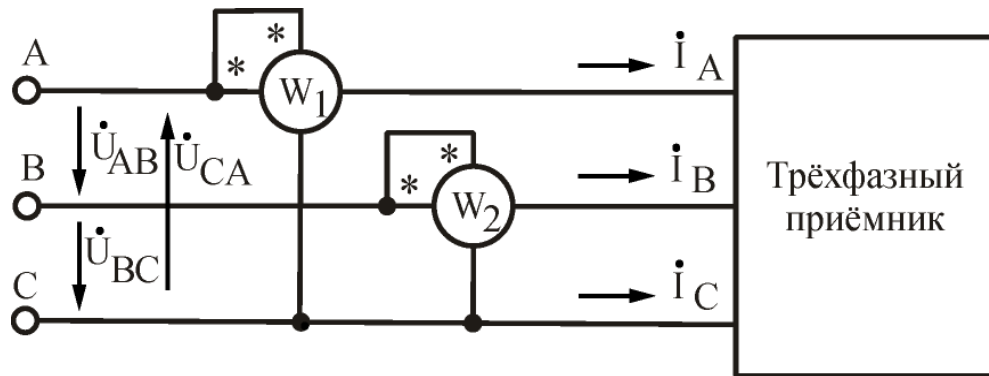


Рис. 4.17. Схема измерения мощности двумя ваттметрами

Выразив согласно закону Кирхгофа значения фазных токов  $i_A, i_B, i_C$  в виде  $i_A = -(i_B + i_C), i_B = -(i_A + i_C), i_C = -(i_A + i_B)$  и подставив эти значения поочерёдно в вышеприведённое уравнение, после преобразований получим

$p = u_{AC} i_A + u_{BC} i_B = u_{AB} i_A + u_{CB} i_C = u_{BA} i_B + u_{CA} i_C$ , где  $u_{AC} = u_A - u_C, u_{BC} = u_B - u_C, u_{AB} = u_A - u_B$  — мгновенные значения линейных напряжений.

Переходя к средней, т. е. активной, мощности источника и равной активной мощности приемника, имеем  $P = U_{AC} I_A \cos \psi_A + U_{BC} I_B \cos \psi_B = U_{AB} I_A \cos \psi_a + U_{CB} I_C \cos \psi_C = U_{BA} I_B \cos \psi_B + U_{CA} I_C \cos \psi_C$  где  $\psi_A, \psi_B, \psi_C$  — углы сдвига фаз между линейными напряжениями и токами;  $I_A, I_B, I_C, U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  — действующие значения линейных токов и напряжений.

Таким образом, активная мощность трёхфазной системы равна алгебраической сумме показаний двух ваттметров:  $P = P_{W1} + P_{W2}$ . На рис. 4.17 представлена одна из трёх возможных схем включения двух приборов для измерения активной мощности. Метод двух ваттметров применяется для измерения активной мощности в несимметричных трехпроводных трехфазных цепях.

#### 4.8. Методы построения приборов сравнения (компенсации)

В большой группе измерительных приборов реализуется метод сравнения измеряемой величины с ее мерой (мерой называется образец, представляющий собой техническое средство, служащее для вещественного воспроизведения единицы определенной физической величины). Чаще всего применяются приборы с дифференциальным или нулевым методом сравнения. При дифференциальном методе сравнения измеряемая величина непосредственно или косвенно сравнивается с мерой, а о результате сравнения судят по разности одновременно производимых этими величинами эффектов. При нулевом методе сравнения измеряемая величина сравнивается с мерой, а результирующий эффект воздействия этих величин на индикатор доводится до нуля. К приборам, реализующим этот метод измерения, относятся потенциометры (компенсаторы) и мосты. Эти приборы широко применяются как для измерения напряжения и тока, так и для измерения параметров электрических цепей ( $R$ ,  $X$ ,  $Z$ ).

У приборов, работающих по методу сравнения, большая чувствительность, чем у других типов приборов, что обеспечивает наименьшую погрешность измерения.

**Потенциометр постоянного тока (компенсатор).** Принципом работы потенциометра постоянного тока является уравнивание (компенсация) поверяемого напряжения или ЭДС известным с высокой степенью точности напряжением. В качестве компенсирующего обычно используют падение напряжения на образцовом резисторе, сопротивление которого известно с относительной погрешностью, не превышающей  $\pm(0,01—0,001)\%$ .

Принцип компенсационного метода измерения наиболее просто можно понять при анализе схемы, приведенной на рис. 4.18, где  $E_H$  — нормальный элемент, ЭДС которого точно известна;  $E_X$  — измеряемая ЭДС;  $НИ$  — нуль-индикатор (обычно магнитоэлектрический гальванометр);  $R_H$  — образцовый резистор;  $R_X$  — резистор с точно известным регулируемым сопротивлением;  $R_I$  — реостат;  $ВБ$  — вспомогательный источник питания.

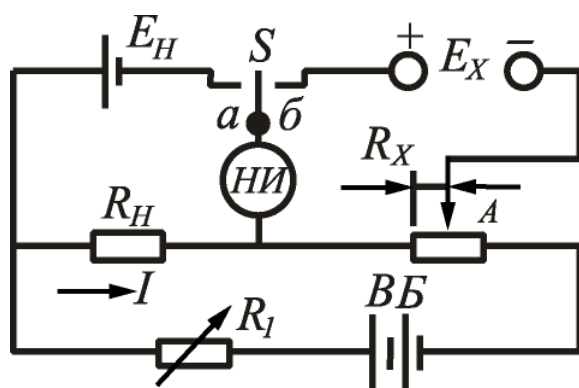


Рис. 4.18. Схема компенсационного метода измерения

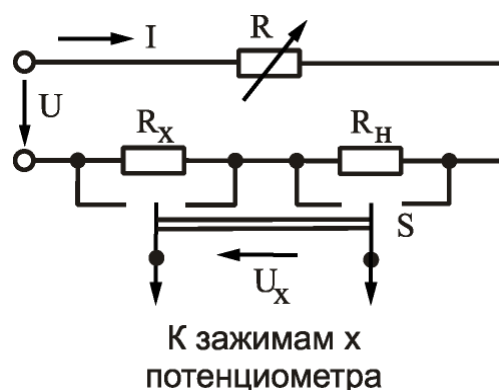


Рис. 4.19. Схема измерения сопротивления

Методика измерения ЭДС  $E_x$  заключается в следующем. Сначала устанавливается определенное для потенциометра значение рабочего тока. Для этого переключатель  $S$  ставят в положение  $a$  и сопротивление реостата  $R_1$  изменяют до тех пор, пока гальванометр  $НИ$  не покажет отсутствия тока  $I$ . Это будет при  $E_H = R_H I$ , т.е. при рабочем токе  $I = E_H / R_H$ . Затем переключатель  $S$  ставят в положение  $b$  и при этом перемещением движка  $A$  реостата  $R_x$  добиваются отсутствия тока в гальванометре. При этом искомое значение ЭДС  $E_x = R_x I$ . Значение рабочего тока во время измерений должно быть, очевидно, постоянным.

Высокая точность компенсационного метода измерения обеспечивается высокой чувствительностью гальванометра, высокой точностью параметров нормального элемента и резисторов, а также высокой стабильностью вспомогательного источника питания. Погрешность измерения у современных потенциометров с ручным и полуавтоматическим уравниванием не превышает  $\pm 0,02\%$ . Погрешность измерения автоматических компенсаторов несколько хуже, но не превышает  $\pm (0,1—0,5)\%$ .

Потенциометр не потребляет энергии от поверяемой цепи и не вызывает нарушений режима ее работы, что является большим достоинством компенсационного метода измерения.

При помощи потенциометра можно также измерять токи и сопротивления. Для определения тока  $I_x$  в цепь включается образцовый резистор с сопротивлением  $R_H$  на котором измеряется напряжение  $U_x$ . Затем по формуле  $U_x = R_H I_x$  вычисляется ток.

Для измерения сопротивления резистора  $R_x$  его включают в цепь последовательно с источником постоянного напряжения  $U$  и образцовым резистором  $R_H$  (рис. 4.19). При помощи переключателя  $S$  поочередно измеряют потенциометром на сопротивлениях  $R_H$  и  $R_x$  падение напряжения  $U_H = R_H I$  и  $U_x = R_x I$  (во время измерений ток  $I$  должен оставаться неизменным).

Сопротивление резистора

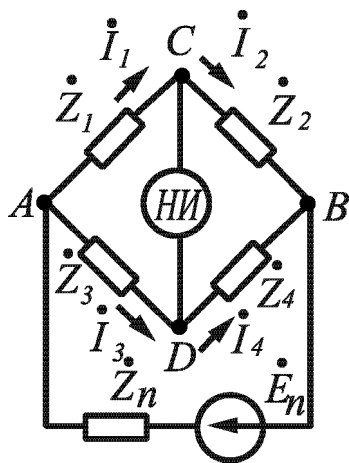


Рис. 4.20. Мостовая схема измерения

$$R_x = R_H U_x / U_H$$

По значению сопротивления рабочей цепи потенциометры постоянного тока делятся на две группы: низкоомные и высокоомные. К низкоомным относятся компенсаторы, имеющие суммарное сопротивление контура рабочего тока, равное 50—1500 Ом. Компенсаторы, сопротивление контура рабочего тока которых превышает 10 кОм, относятся к высокоомным.

Следует отметить, что существуют потенциометры и для измерений в цепях переменного тока с определением не только значений токов и напряжений, но и сдвига фаз между ними. Потенциометры переменного тока

по точности измерений значительно уступают потенциометрам постоянного тока в основном из-за отсутствия меры ЭДС переменного тока, аналогичной нормальному элементу.

**Мостовые измерительные схемы.** Мостовые схемы, реализующие метод сравнения, широко применяются для измерения параметров пассивных элементов электрических цепей. На рис. 4.20 представлена простейшая мостовая цепь, к которой могут быть приведены мостовые цепи более сложной конфигурации.

Пусть  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, \dot{Z}_4$  — комплексные сопротивления плеч моста. Если ток индикатора *НИ* равен нулю — подобный режим называется режимом равновесия моста, то потенциалы точек *C* и *D* равны и одинаковы токи  $\dot{I}_1 = \dot{I}_2, \dot{I}_3 = \dot{I}_4$ . Поэтому  $\dot{Z}_1 \dot{I}_1 = \dot{Z}_3 \dot{I}_3$  и  $\dot{Z}_2 \dot{I}_1 = \dot{Z}_4 \dot{I}_3$  откуда следует условие равновесия моста

$$\dot{Z}_1 / \dot{Z}_2 = \dot{Z}_3 / \dot{Z}_4 \text{ или } \dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_4 = \dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3$$

При известных сопротивлениях трех плеч уравновешенного моста сопротивление четвертого плеча (например,  $\dot{Z}_1$ ) определяется из равенства

$$\dot{Z}_x = \dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 (\dot{Z}_3 / \dot{Z}_4).$$

Широко применяемые при измерении относительно больших величин мостовые схемы имеют существенные ограничения по точности при малых значениях активных сопротивлений, емкостей и индуктивностей.

#### 4.9. Измерение параметров электрических цепей

Основными параметрами электрических цепей являются: для цепи постоянного тока сопротивление  $R$ , для цепи переменного тока активное

сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$ , емкость  $C$ , комплексное сопротивление  $\dot{Z}$ .

Наиболее часто для измерения этих параметров применяют следующие методы: омметра, амперметра - вольтметра, мостовой. Применение компенсаторов для измерения сопротивлений  $R$  уже рассматривалось в п. 4.8. Рассмотрим другие методы.

**Омметры.** Непосредственно и быстро сопротивления элементов цепи постоянного тока можно измерить при помощи омметра. В схемах, представленных на рис. 16 *ИМ* — магнитоэлектрический измерительный механизм.

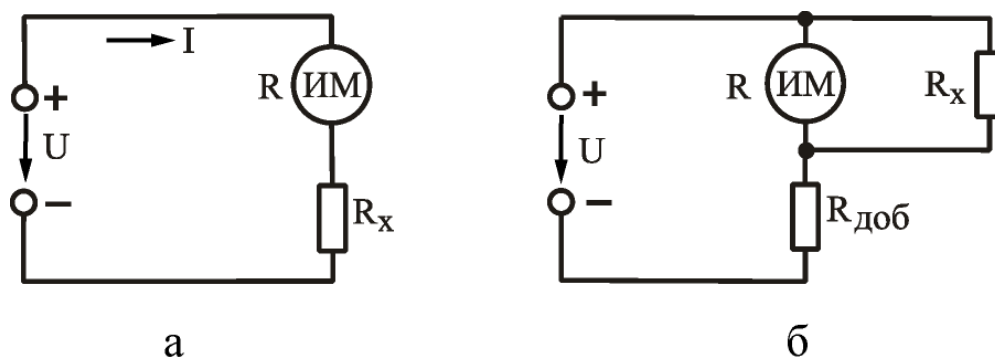


Рис. 4.21. Схема омметра последовательного (а) и параллельного включения (б)

При неизменном значении напряжения питания  $U = const$  показания измерительного механизма зависят только от значения измеряемого сопротивления  $R_x$ . Следовательно, шкала может быть отградуирована в единицах сопротивления.

Для последовательной схемы включения элемента с сопротивлением  $R_x$  (Рис. 4.21, а) угол отклонения стрелки

$$\alpha = sU \frac{1}{R + R_x},$$

для параллельной схемы включения (рис. 4.21 б)

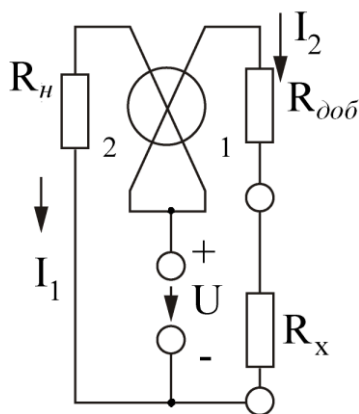


Рис. 4.22. Схема омметра с логометром

$$\alpha = sU \frac{R_x}{RR_x + R_{доб}(R + R_x)},$$

где  $s$  - чувствительность магнитоэлектрического измерительного механизма;  $R$  - сопротивление измерительного механизма;  $R_{доб}$  - сопротивление добавочного резистора. Так как значения всех величин в правой части вышеприведённых уравнений, кроме  $R_x$ , постоянные то угол отклонения определяется значением  $R_x$ .

Шкалы омметров для обеих схем включения неравномерные. В последовательной схеме включения, в отличие от параллельной, нуль шкалы совмещен с максимальным углом поворота подвижной части. Омметры с последовательной схемой включения более пригодны для измерения больших сопротивлений, а с параллельной схемой - малых. Обычно омметры выполняют в виде переносных приборов классов точности 1,5 и 2,5. В качестве источника питания  $U$  применяют батарею. Необходимость установки нуля при помощи корректора является крупным недостатком рассмотренных омметров. Этот недостаток отсутствует у омметров с магнитоэлектрическим логометром.

Схема включения логометра в омметре представлена на рис. 4.22. В этой схеме 1 и 2 - катушки логометра (их сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ );  $R_H$  и  $R_{доб}$  - добавочные резисторы, постоянно включенные в схему.

Так как

$$I_1 = U / (R_1 + R_H), \quad I_2 = U / (R_2 + R_{доб} + R_x)$$

то отклонение стрелки логометра  $\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$  или  $\alpha = f\left(\frac{R_2 + R_{доб} + R_x}{R_1 + R_H}\right)$ ,

т. е. угол отклонения определяется значением  $R_x$  и не зависит от напряжения  $U$ .

Омметры с логометром имеют различные конструкции в зависимости от требуемого предела измерения, назначения (щитовой или переносной прибор) и т. п.

**Метод амперметра - вольтметра.** Этот метод является косвенным методом измерения сопротивления элементов цепей постоянного и переменного токов. Амперметром и вольтметром измеряются соответственно ток и напряжение на сопротивлении  $R_x$  значение которого затем рассчитывается по закону Ома:  $R_x = U / I$ . Точность определения сопротивлений этим методом зависит как от точности приборов, так и от применяемой схемы включения (рис. 4.23 а и б).

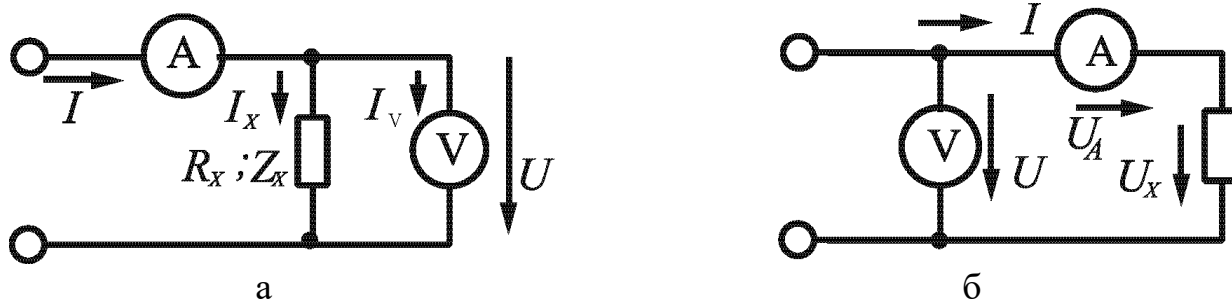


Рис. 4.23. Схема измерений сопротивлений малых (а) и больших (б) величин

При измерении относительно небольших сопротивлений (менее 1 Ом) схема на рис. 4.23, а предпочтительнее, так как вольтметр подключен непосредственно к измеряемому сопротивлению  $R_x$ , а ток  $I$ , измеряемый амперметром, равен сумме тока в измеряемом сопротивлении  $I_x$  и тока в вольтметре  $I_v$ , т. е.  $I = I_x + I_v$ . Так как  $I_x \gg I_v$ , то  $I \approx I_x$ .

При измерении относительно больших сопротивлений (более 1 Ом) предпочтительнее схема на рис. 4.23 б, так как амперметр непосредственно измеряет ток в сопротивлении  $R_x$ , а напряжение  $U$ , измеряемое вольтметром, равно сумме напряжений на амперметре  $U_A$  и измеряемом сопротивлении  $U_x$ , т. е.  $U = U_x + U_A$ . Так как  $U_x \gg U_A$ , то  $U \approx U_x$ .

Принципиальные схемы включения приборов для измерения полного сопротивления элементов  $Z_x$  цепи переменного тока методом амперметра — вольтметра те же, что и для измерения сопротивлений  $R_x$ . В этом случае по измеренным значениям напряжения  $U$  и тока  $I$  определяют полное сопротивление  $Z_x = U / I$ .

Очевидно, что этим методом нельзя измерить аргумент поверяемого сопротивления. Поэтому методом амперметра — вольтметра можно измерять индуктивности катушек и емкости конденсаторов, потери в которых достаточно малы. В этом случае

$$\omega L_x \approx U / I ; \omega C_x \approx I / U .$$